

Article

« Les risques naturels littoraux dans le Nord-Pas-de-Calais, France »

Arnaud Héquette

[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, n° 8, 2010.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/045529ar>

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

LES RISQUES NATURELS LITTORAUX DANS LE NORD-PAS-DE-CALAIS, FRANCE

Arnaud Héquette

Univ Lille Nord de France, F-59000 Lille, France, ULCO, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (LOG), 32 Avenue Foch, F-62930 Wimereux, France, CNRS, UMR 8187, F-62930 Wimereux, France Courriel : arnaud.hequette@univ-littoral.fr

Résumé : Le littoral du Nord-Pas-de-Calais consiste en grande partie en de larges plages sableuses et en dunes côtières, localement interrompues par des estuaires, des agglomérations côtières et quelques falaises rocheuses. Comme toutes les côtes basses, les littoraux meubles du Nord-Pas-de-Calais sont sujets à des phénomènes d'érosion et de submersion marine, certains secteurs de dunes côtières étant caractérisés par un recul du front dunaire depuis plusieurs décennies. Les dunes littorales constituent souvent un rempart naturel protégeant des zones de polders de la plaine côtière des attaques de la mer et leur érosion ne fait qu'augmenter les risques de submersion marine pendant les tempêtes. La zone côtière du Nord-Pas-de-Calais étant densément peuplée, le recul du trait de côte et les submersions de tempête représentent une menace pour les riverains dans plusieurs secteurs de ce littoral. Le caractère macrotidal (marnage > 4 m) du littoral du Nord-Pas-de-Calais résulte toutefois en une atténuation des effets des tempêtes, car les fluctuations du niveau d'eau dues à la marée limitent le temps pendant lequel les phénomènes d'érosion et de submersion marine peuvent se produire. L'élévation récente du niveau de la mer dans la région suggère cependant que les phénomènes d'érosion littorale et de submersion marine risquent d'augmenter pendant les prochaines décennies.

Mots-Clés : risques littoraux, érosion littorale, submersion marine, surcote, Nord-Pas-de-Calais, France

Abstract: The coast of the Nord-Pas-de-Calais region largely consists of wide sandy beaches and coastal dunes, locally interrupted by estuaries, coastal settlements and some rocky cliffs. Similarly to most low-elevated coastlines, some of the unconsolidated shorelines of the Nord-Pas-de-Calais experience coastal erosion and marine flooding, with some coastal dunes undergoing erosion and coastline retreat since several decades. The coastal dunes often represent a natural barrier protecting the low-lying reclaimed land of the coastal plain from the sea and their erosion increases the risks of flooding during storm events. Because the coastal zone of the Nord-Pas-de-Calais region is densely populated, coastal retreat and marine flooding represent natural hazards threatening the coastal populations in several areas along the shore. The potential impacts of storms are limited, however, due to the macrotidal regime (tidal range > 4 m) in the coastal zone of the region, which restricts the length of time during which coastal erosion and marine flooding can occur at high tide. In spite of this, the recent rise in sea level observed from tide gauge data stations in close proximity suggests that the risk of coastal erosion and marine flooding may increase during the next decades in this region.

Keywords : coastal hazards, coastal erosion, marine flooding, storm surge, Nord-Pas-de-Calais, France

Introduction

En France, en raison de l'appropriation croissante de la frange côtière par les populations et leurs activités depuis plusieurs années (DATAR, 2004), les risques littoraux

concernent au fil des ans un nombre de personnes de plus en plus important. Comme dans de nombreux autres pays, l'érosion des littoraux meubles et la mobilité du trait de côte en général, ainsi que les phénomènes de submersion marine, y sont devenus de plus en plus préoccupants, et il n'est pour s'en convaincre qu'à se rappeler des dégâts et les pertes en vies humaines occasionnés par la tempête Xynthia sur la côte atlantique de la France métropolitaine pendant la nuit du 27 au 28 février 2010.

Référence électronique

Arnaud Héquette, 2010, «Les risques naturels littoraux dans le Nord-Pas-de-Calais, France», VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 8, [En ligne], URL : <http://vertigo.revues.org/10173>

La zone côtière du Nord-Pas-de-Calais étant densément peuplée, les variations de la ligne de rivage peuvent constituer une menace pour les riverains en plusieurs endroits. Une grande partie du littoral du Nord-Pas-de-Calais consiste en de larges plages sableuses à barres intertidales et en dunes côtières qui protègent l'arrière pays des attaques de la mer (Anthony et al., 2006) (Figure 1). Une proportion importante de ces littoraux meubles est caractérisée par une érosion du front dunaire depuis plusieurs décennies, les rythmes de recul pouvant être supérieurs au mètre par année, voire à plusieurs mètres par an dans certains secteurs et/ou pendant certaines périodes (Corbau et al., 1993 ; Vasseur et Héquette, 2000 ; Aernouts et Héquette, 2006). Ce recul rapide du trait de côte peut mettre en péril les habitations et autres installations humaines lorsque celles-ci sont situées dans des zones basses à l'arrière du cordon dunaire, ce qui est le cas d'une grande partie de la plaine côtière qui est constituée de polders pouvant être menacées d'inondation lors des tempêtes (Rufin-Soler et al., 2008). L'objet de cet article est de présenter succinctement les aléas existant le long des côtes du Nord-Pas-de-Calais et qui représentent des risques naturels qu'il est essentiel de prendre en compte dans la gestion et l'aménagement de ces territoires littoraux. Sont également brièvement examinés les impacts possibles du changement climatique, et en particulier des variations du niveau de la mer, sur ces côtes basses particulièrement sensibles à une élévation du niveau marin.

L'évolution récente de la ligne de rivage du Nord-Pas-de-Calais : une forte variabilité spatiale et temporelle

Le littoral du Nord-Pas-de-Calais compte des côtes à falaises taillées dans des matériaux variés, ce qui explique les différences de vitesses de recul observées entre différents sites. À Equihen, par exemple, à quelques kilomètres au sud de Boulogne-sur-Mer (Figure 1), l'érosion des falaises argilo-gréseuses peut atteindre des rythmes de l'ordre de 0,4 m/an (Pierre, 2006), ce qui est considérable et constitue un risque sérieux pour les habitations proches de la mer qui sont menacées par ce recul. Il s'agit cependant là des rythmes les plus extrêmes que l'on observe que dans des matériaux prompts aux glissements et autres mouvements de terrain. Les autres falaises de la région, découpées dans des matériaux généralement plus cohérents, comme dans la craie du Cap Blanc Nez, par exemple, ne reculent qu'à des rythmes de quelques centimètres par année.

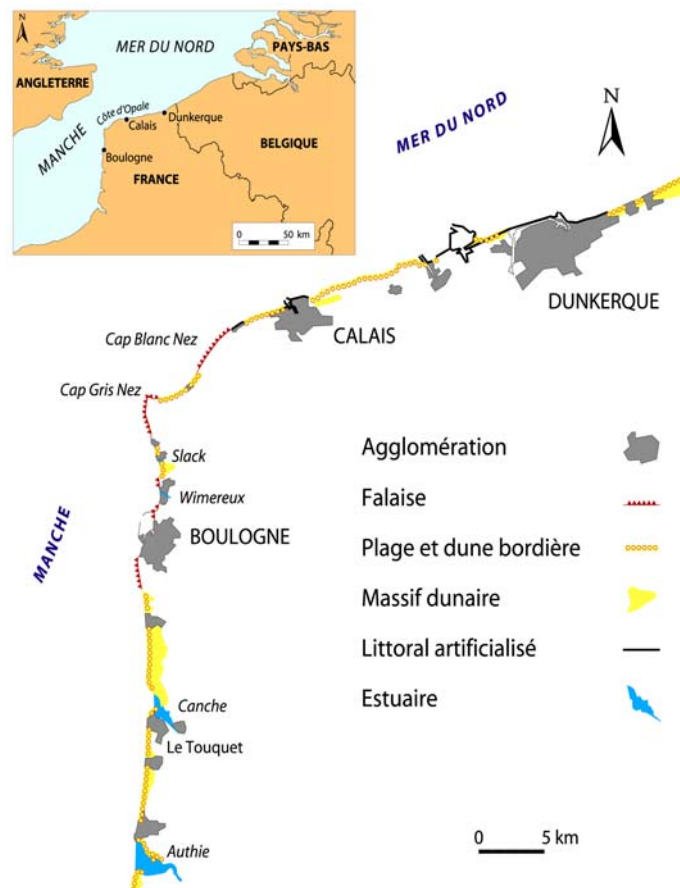


Figure 1. Carte de localisation des principaux types de littoraux du Nord-Pas-de-Calais.

Ce sont le long des littoraux meubles peu élevés que les rythmes de recul sont les plus rapides. Les plages sableuses et les dunes côtières occupent encore de nos jours une place importante dans la zone côtière du Nord-Pas-de-Calais, et ce malgré une extension considérable des espaces urbains et portuaires pendant le 20^{ème} siècle. Ces littoraux meubles, qui représentent parfois le seul rempart protégeant les zones basses de la plaine côtière des submersions marines, subissent non seulement les effets d'une forte emprise anthropique, mais sont également sensibles aux variations dans les forçages hydro-météorologiques (tempêtes, surcotes, énergie des houles, variations du niveau moyen de la mer,...) qui s'exercent à différentes échelles de temps.

Les travaux qui ont été menés ces dernières années sur la morphodynamique des littoraux meubles du Nord-Pas-de-Calais, (Battiau-Queney et al., 2003 ; Ruz et Meur-Férec, 2004 ; Héquette et al., 2009 ; Maspataud et al., 2009), et

notamment sur l'analyse de l'évolution du trait de côte face à la variabilité dans les forçages météo-marins pendant la deuxième moitié du 20^{ème} siècle (Clabaut et al., 2000 ; Vasseur et Héquette, 2000 ; Chaverot et al., 2008) ont montré une grande variabilité spatiale dans l'évolution du trait de côte, certains secteurs ayant été relativement stables (Ruz et al., 2005) alors que d'autres ont été affectés par un recul important (Aernouts et Héquette, 2006), ou au contraire par une avancée de la ligne de rivage dans quelques cas (Anthony et al., 2006). Ces fortes disparités spatiales dans la dynamique du trait de côte apparaissent clairement sur la carte d'évolution de la ligne de rivage entre 1963 et 2000 (Figure 2) réalisée par S. Chaverot (2006) à l'aide de photographies aériennes verticales orthorectifiées. Bien que les secteurs en érosion soient communs, notamment au sud de Boulogne-sur-Mer, à l'est de Dunkerque, ou encore en Baie de Wissant où le recul du trait de côte a pu localement atteindre plus de 100 m entre ces deux dates, les secteurs caractérisés par de la sédimentation et une avancée du rivage vers la mer ne manquent pas. L'ampleur de l'avancée du trait de côte est en général modeste, mais peut en certains cas, comme à l'est de Calais dépasser la centaine de mètres en moins de 40 ans (Figure 2).

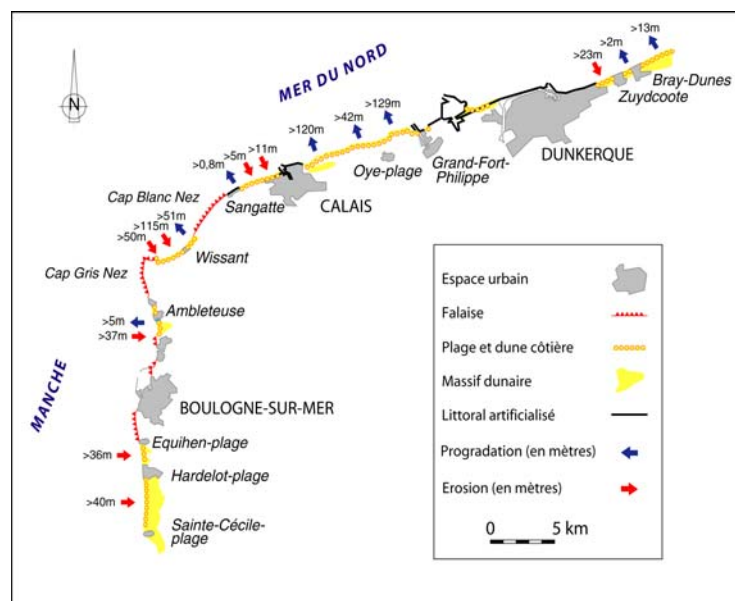


Figure 2. Évolution du trait de côte du Nord-Pas-de-Calais entre 1963 et 2000 (tiré de Chaverot, 2006)

Cette représentation cartographique ne permet cependant pas de restituer la variabilité temporelle des variations de la ligne de rivage. Les travaux menés sur l'évolution du rivage pendant les dernières décennies ont en effet montré que

les rythmes de variations du trait de côte sont également très variables dans le temps, les secteurs en érosion ayant pu connaître un recul rapide pendant certaines périodes alors que la côte a pu reculer beaucoup plus lentement pendant d'autres périodes. Dans certains cas, on observe même des inversions dans le mouvement du trait de côte, comme une avancée de la ligne de rivage pendant plusieurs années qui est ensuite suivie d'un recul (Chaverot et al., 2008). Ces résultats reflètent la complexité et la grande variabilité spatiale et temporelle des interactions qui existent entre les différents facteurs qui peuvent être à l'origine des phénomènes d'érosion et de sédimentation le long de ces côtes (e.g., régime des houles, gradients d'énergie le long des côtes, intensité des courants de marée, actions anthropiques). À cette échelle de temps, l'évolution du trait de côte paraît toutefois fortement liée à des variations du bilan sédimentaire à grande échelle spatiale, incluant les petits fonds où les mouvements de bancs sableux peu profonds semblent jouer un rôle primordial dans la dynamique morpho-sédimentaire littorale (Aernouts et Héquette, 2006 ; Anthony et al., 2006 ; Héquette et Aernouts, 2010).

Le cas du littoral de la Baie de Wissant (Figure 1) est très révélateur à cet égard. Encadrée par le cap Gris Nez et le cap Blanc Nez, la Baie de Wissant, qui abrite une petite station balnéaire depuis le 19^{ème} siècle, est un site reconnu pour sa richesse paysagère. Le littoral y est constitué d'une large plage sableuse bordée par des dunes côtières d'identification récente (Figure 3), tout comme la plupart des littoraux meubles de la région Nord-Pas-de-Calais. Il s'agit d'un site emblématique du « Parc naturel régional des Caps et Marais d'Opale » où se cristallisent de nombreux enjeux et tensions concernant la gestion de l'érosion. Le littoral de la Baie de Wissant doit en effet faire face depuis plusieurs décennies à une érosion très importante, ce qui explique la grande inquiétude des autorités locales qui craignent l'aggravation d'une situation déjà préoccupante. L'analyse de l'évolution de la ligne de rivage à l'aide de photographies aériennes a montré qu'entre 1949 et 2000 le recul de la côte a atteint plus de 250 m au centre de la baie, soit un recul moyen de plus de 5 m/an, ce qui représente l'un des rythmes d'érosion les plus importants en France métropolitaine. Plusieurs études récentes ont été réalisées sur ce secteur afin de tenter de comprendre les processus à l'origine de cette évolution (e.g., Ruz et Meur-Férec, 2004 ; Sedrati et Anthony, 2008) et les travaux menés sur les variations de la bathymétrie de la baie pendant le 20^{ème} siècle tendent à montrer que cette

érosion est en partie liée à un déficit sédimentaire au sein de la baie, les pertes de sédiments ayant été estimées à plus de 100 000 m³/an depuis plusieurs décennies (Aernouts et Héquette, 2006). Ce déficit sédimentaire a eu notamment pour effet d'abaisser le niveau de la plage et de fragiliser la digue-perré protégeant la commune de Wissant (Figure 4). La dégradation cette digue a conduit à sa rupture à plusieurs reprises depuis 2000, notamment en mars 2007 lorsque la digue s'est effondrée sur près de la moitié de sa longueur lors d'un fort coup de vent conjugué à une marée d'équinoxe (Figure 4).

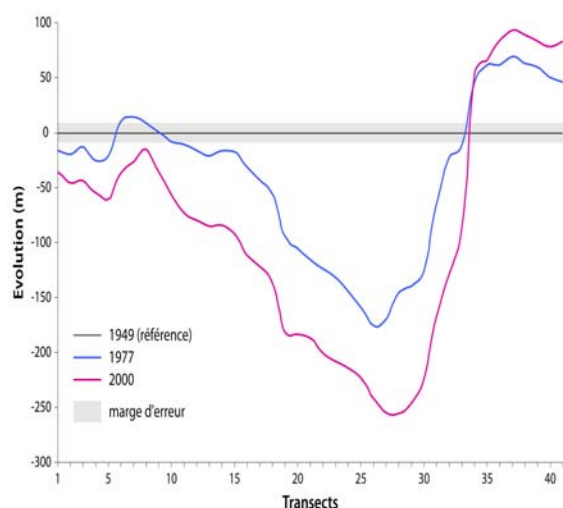


Figure 3. Evolution du trait de côte de la Baie de Wissant entre 1949 et 2000 (d'après Aernouts, 2005). Les courbes représentent la position du trait de côte en 1977 et en 2000 par rapport à celle de 1949. La photographie aérienne est un orthophotoplan infrarouge datant de 2000 fourni par l'Espace Naturel Régional du Nord-Pas-de-Calais.



Figure 4. Photographies de la digue et de la plage de Wissant en 1998 et suite à la tempête du 19 mars 2007 (Cliché du haut : O. Cohen ; cliché du bas : V. Herbert)
Légende : noter l'important abaissement du niveau de sable sur le haut de plage.

L'impact des tempêtes et des surcotes

Les travaux entrepris ces dernières années sur les variations de la ligne de rivage du Nord-Pas-de-Calais ont montré que la variabilité spatiale dans l'évolution du trait de côte était fortement liée au bilan sédimentaire local, non seulement à l'échelle pluri-annuelle, voire décennale (Aernouts et Héquette, 2006 ; Chaverot et al., 2008), mais aussi à l'échelle événementielle (Ruz et Meur-Férec, 2004 ; Chaverot et al., 2005). Le bilan sédimentaire de la plage conditionne en effet le niveau de sable en haut de plage et de ce fait la vulnérabilité des dunes à l'impact érosif des hauts niveaux d'eau. À court terme, la stabilité, la progression ou au contraire le recul du trait de côte dépend non seulement du niveau altitudinal du haut de plage, mais aussi bien évidemment des niveaux d'eau effectivement atteints lors des tempêtes. Des mesures topographiques détaillées de fronts dunaires et de hauts de plage ont en outre montré que l'impact des tempêtes sur les fronts dunaires du Nord-Pas-de-Calais dépendait aussi fortement du temps pendant lequel les dunes côtières sont touchées par les vagues pendant un événement tempétueux (Ruz et Meur-Férec, 2004 ; Ruz et al., 2009).

Les épisodes de hauts niveaux d'eau potentiellement érosifs sont généralement associés à des surcotes, qui correspondent à des hauteurs d'eau supérieures aux hauteurs de marée astronomiques théoriques. Ces événements de surélévation du niveau de l'eau à la côte se produisent sous l'action de vents forts soufflant vers la côte conjugués à une baisse de la pression atmosphérique. Sur les côtes du Nord-Pas-de-Calais, des surcotes de l'ordre de 1 m sont courantes, et des surélévations du plan d'eau de plus de 2 m ont été mesurées à plusieurs reprises pendant les dernières décennies (Chaverot, 2006) dont une surcote de 2,4 m enregistrée à Dunkerque en novembre 2007.

Le long d'une côte macrotidale comme celle du Nord-Pas-de-Calais, où l'amplitude de la marée varie d'environ 5 m à 8 m en période de vive eau moyenne, la hauteur d'eau atteinte pendant une tempête ne dépend pas que de l'amplitude de la surcote, mais également du coefficient de marée lors de l'épisode tempétueux ainsi que du moment pendant lequel l'amplitude maximale de la surcote se produit, ce qui varie de façon aléatoire. La hauteur d'eau critique à partir de laquelle les vagues pourront éroder les dunes littorales ou causer des submersions marines des zones côtières peu élevées, ainsi que le laps de temps

pendant lequel ces phénomènes pourront se produire, dépendent donc fortement de la conjonction d'une surcote avec la marée haute. Les cas de la tempête du 3 janvier 1976 illustre bien ce phénomène. Lors de cet événement, des vents forts du sud-ouest (> 20 m/s), virant au nord-ouest, ont engendré une surcote ayant atteint 2,18 m à Dunkerque dans la soirée du 3 janvier (Figure 5). Le pic de surcote s'est toutefois produit à basse mer et l'ampleur de la surcote a ensuite diminué pendant la marée montante, la surcote étant de moins de 1 m lors de la haute mer suivante ce qui a limité les dégâts qu'elle aurait pu occasionner. Il est évident qu'en milieu macrotidal, les oscillations du plan d'eau dues au battement des marées limitent les risques littoraux en réduisant le temps pendant lequel les phénomènes d'érosion et d'inondation marine peuvent se produire, mais on ne peut éliminer la possibilité qu'une forte surcote survienne lors d'une étale de pleine mer. Fort heureusement, tout comme lors de l'épisode du 3 janvier 1976, la plupart des fortes surcotes qui se sont produites ces dernières années le long des côtes du Nord-Pas-de-Calais n'ont pas eu lieu à marée haute, ce qui a limité les impacts qu'elles auraient pu avoir, mais on peut facilement imaginer ce qui aurait pu advenir si une des ces surcotes avait eu lieu à haute mer.

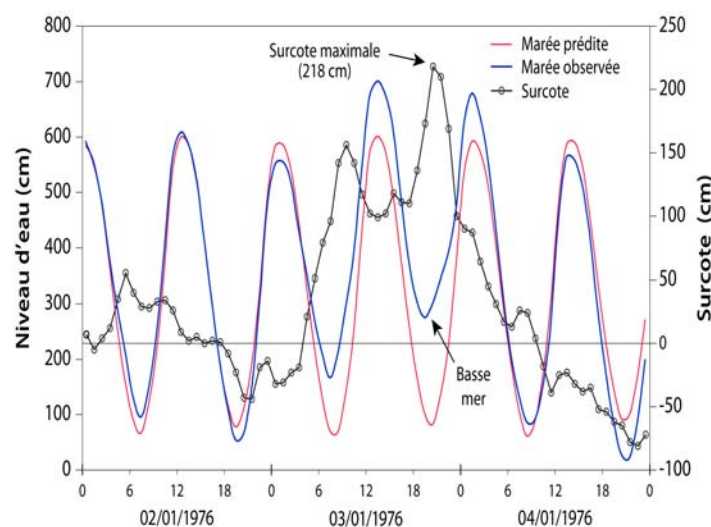


Figure 5. Variations du niveau d'eau à Dunkerque lors de la surcote de janvier 1976 (d'après Chaverot, 2006)

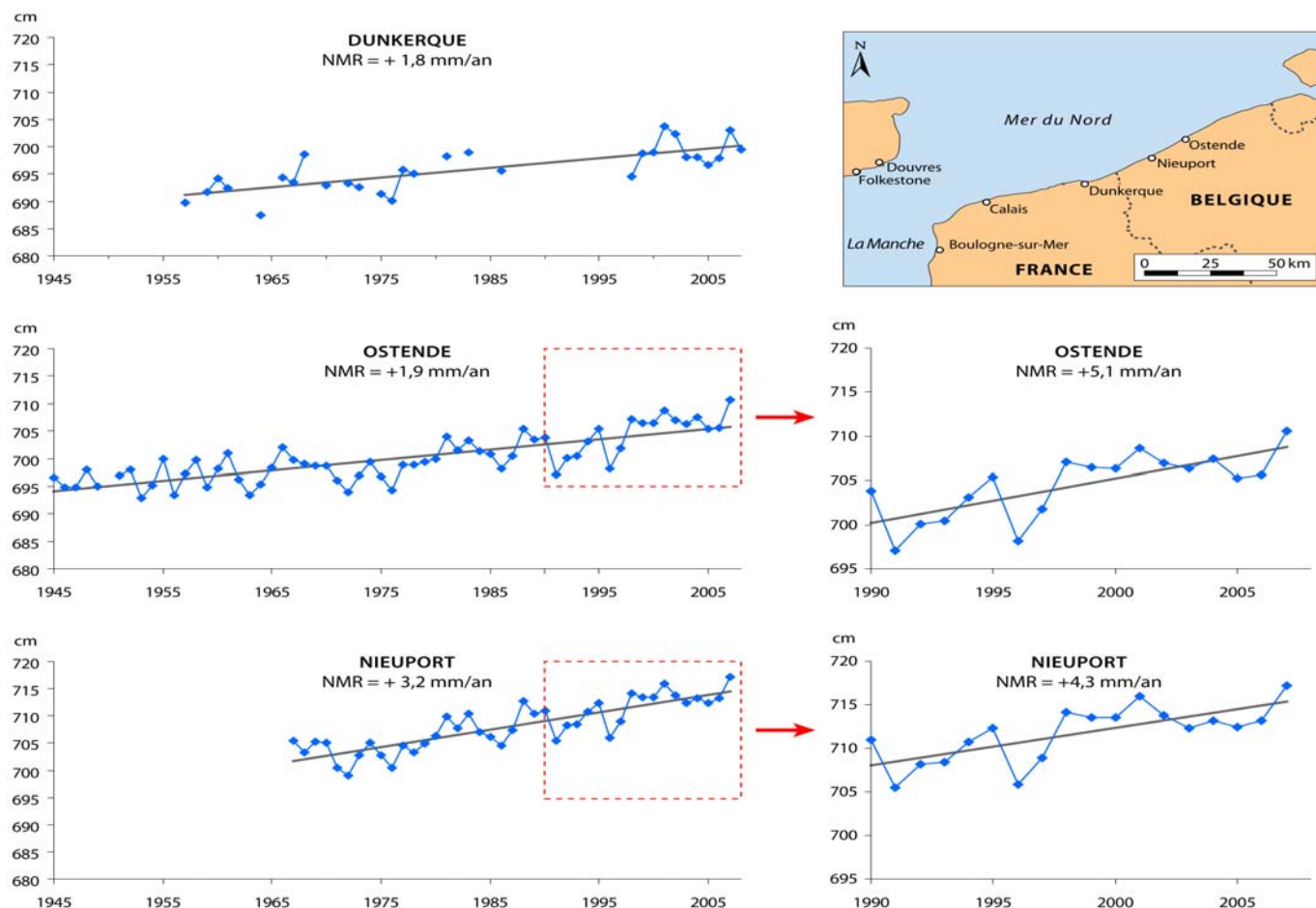


Figure 6. Variations du niveau moyen annuel de la mer (NMR) à Dunkerque, Nieuport et Ostende, établies à partir des données du *Permanent Service for Mean Sea Level* (<http://www.psmsl.org/>). Les hauteurs d'eau sont données par rapport au zéro hydrographique local révisé (*Revised Local Reference*).

Les variations du niveau de la mer : une menace pour l'avenir ?

Une analyse des variations du niveau moyen de la mer a été menée en utilisant les données du *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL) qui fournit des valeurs mensuelles et annuelles du niveau moyen de la mer de marégraphes du monde entier (<http://www.psmsl.org/>). Les données marégraphiques des ports du Nord-Pas-de-Calais sont malheureusement très lacunaires, particulièrement celles des ports de Calais et de Boulogne-sur-Mer pour lesquels des années entières de données sont souvent manquantes. La série de données la plus complète est celle du Port de Dunkerque qui couvre la période 1957-2008, bien que peu de données ne soient disponibles entre la fin des années 70 et le milieu des années 1990 (Figure 6). Les variations du niveau moyen annuel à Dunkerque montrent

une hausse du niveau relatif de la mer à un rythme de l'ordre de 1,8 mm/an, ce qui est comparable à la hausse du niveau de la mer mesurée dans de nombreuses stations marégraphiques de l'hémisphère nord pendant le 20^{ème} siècle (Douglas, 1997).

Afin de vérifier la validité des résultats obtenus à l'aide des données marégraphiques du Port de Dunkerque, une comparaison a été réalisée avec des séries de données marégraphiques beaucoup plus complètes acquises dans des ports de la côte belge situés seulement à quelques dizaines de kilomètres de distance de Dunkerque. L'analyse des valeurs annuelles du niveau moyen de la mer à Ostende révèle une élévation du niveau moyen d'environ 1,9 mm/an entre 1945 et 2007 (Figure 6), ce qui correspond bien au résultat obtenu pour Dunkerque. Les données enregistrées à Nieuport sur une période plus courte d'une

quarantaine d'année (1967-2007) indiquent une hausse du niveau marin plus rapide, de l'ordre de 3,2 mm/an, ce qui suggère une possible accélération du rythme d'élévation du niveau de la mer pendant les dernières décennies. Si l'on examine les variations du niveau moyen depuis 1990, on obtient des rythmes d'augmentation du niveau de la mer encore plus élevés dans les deux stations belges : 4,3 mm/an à Nieuport et même 5,1 mm/an à Ostende (Figure 6). Ces résultats rejoignent ceux qui ont été obtenus récemment à l'aide de satellites d'observations du niveau des mers comme TOPEX/POSEIDON ou Jason-1 ou qui montrent que le niveau global des océans s'élèverait à un rythme de plus de 3 mm/an depuis le début des années 90 (Cazenave et Llovel, 2010).

Bien que la période de mesure soit trop courte pour extrapoler les rythmes de hausse du niveau local de la mer aux prochaines décennies, on peut néanmoins noter que les valeurs obtenues pour Nieuport et Ostende sont déjà du même ordre de grandeur que les rythmes d'élévation du niveau de la mer projetés par le GIEC pour le 21^{ème} siècle, soit de 40 à 50 cm/siècle (GIEC, 2007). Si une telle hausse du niveau de la mer se poursuit pendant les prochaines années, les hauts niveaux d'eau susceptibles d'engendrer des phénomènes de submersion et d'érosion risquent de se produire plus souvent. En outre, les hauteurs des niveaux d'eau extrêmes seront de plus en plus élevées ce qui risque de causer des dommages plus importants. À l'heure actuelle, il est déjà difficile de drainer les polders de la plaine maritime du nord de la France dont les eaux sont évacuées jusqu'à la mer par gravité par un système de canaux. Avec une hausse du niveau de la mer cette évacuation des eaux risque de devenir de plus en plus difficile à réaliser ce qui ne pourra qu'augmenter les risques d'inondation fluviale de plusieurs zones côtières situées à des altitudes inférieures au niveau moyen actuel de la mer et qui subissent déjà épisodiquement ce type d'aléa.

Conclusion

Le littoral du Nord-Pas-de-Calais est en grande partie constitué de côtes sableuses basses qui subissent par endroits des phénomènes d'érosion qui mènent à un recul de la ligne de rivage, ceci pouvant à terme menacer des espaces rétro-littoraux occupés par l'homme. Les dunes littorales constituent souvent un rempart naturel protégeant les zones de polders de la plaine côtière des attaques de la mer et leur érosion ne fait qu'augmenter les risques de submersion marine pendant les tempêtes. Les

risques d'inondation par la mer sont également présents sur le front de mer de plusieurs communes littorales où les vagues franchissent déjà les digues lors d'événements tempétueux lorsque ceux-ci se produisent pendant des marées de fort coefficient. Le caractère macrotidal (marnage > 4 m) du littoral du Nord-Pas-de-Calais résulte en une atténuation des effets des tempêtes et des surcotes en ce que le battement de la marée limite le temps pendant lequel les phénomènes d'érosion et de submersion marine peuvent se produire. Les tendances à la hausse du niveau marin local, telles que révélées par les enregistrements marégraphiques dans plusieurs ports de la région, suggèrent toutefois que les phénomènes d'érosion littorale et de submersion marine risquent d'augmenter pendant les prochaines décennies, car les hauteurs des niveaux d'eau extrêmes seront de plus en plus élevées. Il paraît donc indispensable que cette augmentation du niveau de la mer soit prise en compte dans tout schéma d'aménagement de la zone côtière ou de gestion de l'évolution du trait de côte afin de tenter de prévoir les risques naturels qui pourront affecter ces territoires littoraux dans un proche avenir. Ceci est cependant loin d'être toujours le cas en France, l'élévation contemporaine du niveau de la mer n'étant même pas considérée dans les Plans de Prévention des Risques (PPR) littoraux qui servent à délimiter les zones exposées aux risques d'érosion et de submersion marine.

Bibliographie

- Aernouts, D., 2005, Le rôle des changements bathymétriques à l'avant côte sur l'évolution des littoraux meubles du Cap Gris-Nez à Dunkerque, Côte d'Opale, Nord de la France, Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 195 pp.
- Aernouts, D. et Héquette, A., 2006, L'évolution du rivage et des petits fonds en Baie de Wissant pendant le XX^e siècle, Pas-de-Calais, France, *Géomorphologie : relief, processus et environnement*, 1, pp. 49-64.
- Anthony, E.J., Vanhée, S. et Ruz, M.H., 2006, Short-term beach-dune sand budgets on the North Sea coast of France : sand supply from shoreface to dunes and the role of wind and fetch, *Geomorphology*, 81, pp. 316-329.
- Battiau-Queney, Y., Billet, J.F., Chaverot, S. et Lanoy-Ratel, P., 2003, Recent shoreline mobility and geomorphologic evolution of macrotidal sandy beaches in the north of France, *Marine Geology*, 194, pp. 31-45.
- Cazenave, A. et Llovel, W., 2010, Contemporary Sea Level Rise, *Annual Review of Marine Science*, 2, pp. 145-173.
- Clabaut, P., Chamley, H. et Marteel, H., 2000, Evolution récente des dunes littorales à l'est de Dunkerque (Nord de la France), *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, 2, pp. 125-136.

- Chaverot, S., 2006, Impacts des variations récentes des conditions météorologiques sur les littoraux meubles du Nord-Pas-de-Calais. Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 266 pp.
- Chaverot, S, Héquette, A. et Cohen, O., 2005, Evolution of climatic forcings and potentially eroding events on the coast of Northern France, 5th *International Conference on Coastal Dynamics*, Barcelone, Espagne, Avril 2005, Cd-rom, 11 pp.
- Chaverot, S., Héquette, A. et Cohen, O., 2008, Changes in storminess and shoreline evolution along the northern coast of France during the second half of the 20th century, *Zeitschrift für Geomorphologie* Suppl. 52 (3), pp. 1-20.
- Corbau, C., Clabaut, P., Tessier, B. et Chamley, H. 1993, Modifications morphosédimentaires historiques et récentes du domaine côtier dunkerquois (France), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Sér. II, 316, pp. 1573-1580.
- DATAR, 2004, Construire ensemble un développement équilibré du littoral. La Documentation Française, Paris, 157 pp.
- Douglas, B.C., 1997, Global Sea Rise : A Redetermination, *Surveys in Geophysics*, 18, pp. 279–292.
- GIEC, 2007, Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du GIEC, GIEC, Genève, 103 pp.
- Héquette, A. et Aernouts, D., 2010, The influence of nearshore sand bank dynamics on shoreline evolution in a macrotidal coastal environment, Calais, Northern France, *Continental Shelf Research*.
- Héquette, A., Ruz, M.-H., Maspataud, A. et Sipka, V., 2009, Effects of nearshore sand bank and associated channel on beach hydrodynamics : implications for beach and shoreline evolution, *Journal of Coastal Research*, SI 56, pp. 59-63.
- Maspataud, A., Ruz, M.-H. et Héquette, A., 2009, Spatial variability in post-storm beach recovery along a macrotidal barred beach, southern North Sea, *Journal of Coastal Research*, SI 56, pp. 88-92.
- Pierre, G., 2006, Processes and rate of retreat of the clay and sandstone sea cliffs of the northern Boulonnais (France), *Geomorphology*, 73, pp. 64-77.
- Rufin-Soler, C., Héquette, A. et Gardel, A., 2008, Assessing the vulnerability of coastal lowlands to marine flooding using LiDAR data, Sangatte coastal dunes, northern France, *Zeitschrift für Geomorphologie* Suppl. 52 (3), pp. 195-211.
- Ruz, M.-H. et Meur-Férec, C., 2004, Influence of high water levels on aeolian sand transport : upper-beach/dune evolution on a macrotidal coast, Wissant Bay, Northern France, *Geomorphology*, 60, pp. 73-87.
- Ruz, M.-H., Anthony, E.J. et Faucon, L., 2005, Coastal dune evolution on a shoreline subject to strong human pressure : The Dunkirk area, Northern France, *Dunes & Estuaries 2005*, Int. Conf. Nature restoration practices in European coastal habitats, Koksijde, Belgium, 19-23 September 2005, pp. 441-449.
- Ruz, M.H., Héquette, A., et Maspataud, A., 2009, Identifying forcing conditions responsible for foredune erosion on the northern coast of France. *Journal of Coastal Research*, SI 56, pp. 356-360.
- Sedrati, M. et Anthony, E.J., 2008, Sediment dynamics and morphological change on the upper beach of a multi-barred macrotidal foreshore, and implications for mesoscale shoreline retreat : Wissant Bay, northern France, *Zeitschrift für Geomorphologie* Suppl. 52 (3), pp. 91-106.
- Vasseur et Héquette, A. 2000, Storm surges and erosion of coastal dunes between 1957 and 1988 near Dunkerque (France), southwestern North Sea, In : *Coastal and Estuarine Environments*, Geological Society, Londres, Spec. Publ., 175, pp. 99-107.